

協調学習における非言語情報を用いた学習状況可視化システム

A Collaborative Learning Visualization System using Nonverbal Information

林佑樹*¹
Yuki HAYASHI

小川裕史*¹
Yuji OGAWA

中野有紀子*¹
Yukiko NAKANO

*¹ 成蹊大学理工学部

Faculty of Science and Technology, Seikei University

In collaborative learning, participants progress their learning through multimodal information in a face-to-face environment. In addition to verbal communication, nonverbal information such as looking at other participants and note taking plays an important role in facilitating effective interaction. In order to exploit such nonverbal information in analyzing collaborative learning, we have conducted an experiment to collect multimodal corpus consisting of gaze direction, speech intervals, and writing actions of learners. Then, we propose a collaborative learning visualization system which visualizes the multimodal learning interaction with respect to collaborative and learning attitudes of the learners. Experimental results showed that there were strong correlations between the values calculated by our visualization method and subjective judgments by human subjects.

1. はじめに

協調学習は、学習者がグループの中で互いに教えあい、協力しながら学習を進める形式をとる学習である[Adelsberger 2002]. 協調学習は会話によって進展するため、協調学習を支援する既存研究では学習時に交わされる発言情報に焦点が当たったものが多い[Soller 2007, 稲葉 2003]. しかし協調学習では、話している相手の表情を観察する、ノートに記述するといった、非言語行動も円滑なコミュニケーションを行うために重要な役割を担う[Kreijns 2003]. 観察者が見落としやすい学習者の視線や身振りなどの非言語的な動作に基づき学習状況を明示的に可視化することで、協調学習の分析の効率化や協調学習全体の評価を行うことが可能となる。

これまで我々は、協調学習における非言語インタラクションを分析することを目的に、学習者の非言語行動(注視対象、発言区間、ノート記述動作)を取得するための協調学習環境を構築し、非言語情報の収集実験を実施してきた[Hayashi 2013]. この学習環境において収集されたデータを統合して扱うことで、他者から注目されている学習者、発言をせずノートも記述していない学習者など、各時点での学習状況を表現できる。各学習者が他者と相互作用をしているか、また知識理解に向けて積極的に学習活動をしているかどうかを把握できることで、相互作用を通して育まれる協調的態度や、他者を介した知識構築などの学習効果を分析できると考えられる。そこで本研究では、収集された協調学習コーパスに基づき、他者と協力的に学習を進めているか(協調的態度の側面)、学習者自身が知識理解を深めながら学習に取り組んでいるか(学習理解態度の側面)を定量化し、直感的に表現するための可視化手法を提案する。

2. 対象とする協調学習及び非言語情報

本研究では、少人数(3名の学習者)による協調学習を扱い、与えられた課題に関する知識を深める学習を対象とする。学習課題として、数式などを利用して計算を行う解のある問題と、解の存在しないオープンエンドな問題を議論する状況を想定し、全ての学習者が学習内容を共有・理解することを学習目的とす

る。各学習者は、個人の解やアイデア、他者の意見などを自由に記述できるノートを持つ。また、指導者などの教師的な役割を担う学習者は設定せず、仲間同士で能動的に学習を進める協調学習を想定する。

協調学習では、個別学習のように単純にノートを記述しながら学習をするだけでなく、周りに集う他者の学習状況を観察したり、相手の発言に耳を傾け、ときに自分の意見を主張しながら学習を進める。注視対象の変化や発言の有無といった学習者のプリミティブな動作を統合することで、相互注視をしている学習者やノートを記述している他者を観察している学習者といった、ある時点における協調学習のインタラクションを表現することが可能となる[角 2008]. このような非言語情報データを収集することを目的に、共同作業時のコミュニケーションを行う上で重要な役割を担う[Brennan 2008]ことが示されている、他者/ノートに対する注視対象、発言における発話区間、また学習時のノート記述動作に着目し、これらの情報を取得できる学習環境を構築してデータを収集してきた。図1に構築した協調学習環境の様子を示す。以下に、収集した非言語情報の概要を述べる。



図1: 協調学習データ収集環境の様子

2.1 注視対象情報

視線情報の取得にはグラス型アイトラッカー¹を用いる。本アイトラッカーは、グラス本体、本体から得られるシーン映像(解像度: 640×480 pixels, サンプリングレート: 30Hz), 視線データを蓄積するためのレコーディングアシスタント、及び IR マーカにより構成される。

学習者の視線情報として、協調学習時の学習者の注視対象を取得する。ここでは、全ての学習者とノートにそれぞれに対して ID を割り当てた IR マーカを付けることで、学習開始時から

連絡先: 林佑樹, 成蹊大学理工学部, 東京都武蔵野市吉祥寺北町 3-3-1, hayashi@st.seikei.ac.jp

¹ Tobii Glasses Eye tracker: <http://www.tobii.com/>

終了までの各フレームにおいて、各学習者が視線を向けていた他者、または他者のノート情報を得る。アイトラッカから得られる視線座標と IR マーカの座標との距離を求め、定められた閾値よりも小さい場合、その IR マーカが付けられた対象を学習者の注視対象として同定する。

2.2 発話区間情報

各学習者が装着したヘッドセットをオーディオインタフェースに接続し、同時録音された音声情報から wav 形式のファイルとして音声を抽出する。発話区間情報として、音声認識エンジン Julius[河原 2005]の付属ソフトウェアである Adintool に音声ファイルを入力することで、発話の開始時刻及び終了時刻を検出する。

2.3 記述動作情報

ノートの記述動作を取得するために、デジタルペン²を利用する。本デジタルペンのペン先には、超音波発信部と赤外線発光部がついており、受信用メモリユニットでペン動作を計測する仕組みを備えている。ノートを記述している/していない、という記述動作を認識するために、各学習者のノート記述動作を取得するためのツールとその情報を受信するためのサーバを実装した。サーバでは接続する学習者ごとに記述動作取得用のスレッドが立てられ、ペン押下情報の受信時にタイムスタンプを付加することで、各学習者の記述動作の同期を取る。

2.4 協調学習データの収集

非言語情報をモニタリングできる協調学習環境を実験室に構築し、協調学習データを収集するための実験を実施した。図 2 に構築した学習環境とアイトラッカ用の IR マーカの配置を示す。各被験者にアイトラッカとヘッドセットを装着させ、デジタルペンを利用して学習をさせた。また、協調学習の様子を記録するために、実験環境全体を俯瞰できる位置に HD ビデオカメラを設置し、録画用 PC で映像を保存した。

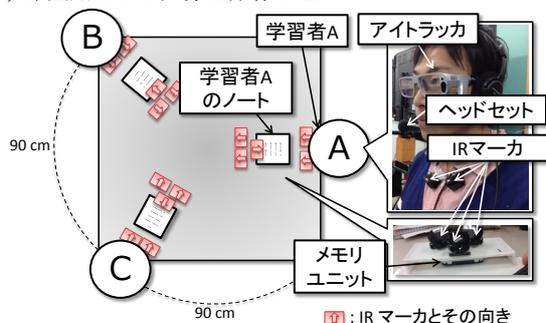


図 2: 協調学習環境のシステム構成

本実験では 30 名(男性 20 名, 女性 10 名)の被験者を集め、3 名×10 グループに対してそれぞれ 2 回ずつ協調学習を実施した。知識を教えあうような状況や、学習が上手く進まずに膠着してしまう状況など、様々な学習状況のデータを収集するために、問題に関する知識を持つ/持たない学習者を意図的に混ぜるグループ構成とした。ここでは、3 名の内 2 名は情報系を専攻する学生とし、他 1 名は文系を専攻する学生を被験者としたうえで、情報系科目に関する学習課題(1)、(2)にそれぞれ取り組ませた。学習課題(1)は進数変換に関する問題であり、解が一意に定まる問題である。学習課題(2)は決められた解はなく、議論を通して知識共有するタイプの問題である。グループ全員の

学習が進まないような状況を防ぐために、情報系を専攻する学生にはどのような分野の問題が出るかをあらかじめ伝え、事前に学習させた上で実験に取り組ませた。

収集した非言語情報を分析した結果、ほぼ正確に発話区間を検出できていたことを確認した。一方、IR マーカの反応不良や、ノート記述時などにアイトラッカの下側を見てしまうことが原因で、視線座標を検出できていない箇所が見られた。また、利用したデジタルペンとアイトラッカは赤外線発光・検出する仕組みであるため、干渉が原因で記述動作を検出できない箇所が存在していた。正確なデータに修正するために、視線座標が取れている箇所の映像に基づき、筆記動作、注視対象のアノテーションを汎用的なビデオアノテーションツール Anvil[Kipp 2001]で付加した。この作業により、機器の不備による情報欠損を除いて、課題(1)について 9 グループ(平均 839 秒)、課題(2)について 10 グループ(平均 817 秒)の協調学習コーパスを作成した。

3. 学習状況の可視化手法

協調学習では互いに協力的な態度で他者と会話することが重要である。同時に、各学習者が学習課題の理解に向けて学習を進めることも求められる。そこで本研究では、学習者を色つきの円形オブジェクト(以降、「ノード」)で表現し、協調学習の状況として、協調的態度の側面、及び学習理解態度の側面を、ある一定期間でなされた非言語情報に基づき可視化するための手法を提案する。以下に可視化手法の詳細を述べる。

3.1 協調的態度の可視化

(1) ノードの大きさ

学習者は発言をやり取りすることで他者に知識を与えることができる。また、協力的な学習者ほど、他者から注目を集めやすいといえる。このような、他者に積極的に働きかけ、注目を集めている協力的な学習者を表現するために、発言量と被注視量に応じてノードの大きさを変化させる。

現時点 t から s 秒前までの間に学習者 n が発言している時間を $U_n(t, s)$ 、 n が他者から見られている時間の総量を $Ged_n(t, s)$ としたとき、その半径の比率 $p_n(t, s)$ を式(1)により算出する。

$$p_n(t, s) = \frac{U_n(t, s) + Ged_n(t, s)}{s} \quad (1)$$

p_n に比例する形で学習者 n を表すノードの半径 $r_n(t, s)$ を大きくする。 $U_n(t, s) + Ged_n(t, s) \geq s$ となる場合は $p_n = 1$ とする。そして、学習者を表すノード半径の最大値を $MaxRad$ 、最小値を $MinRad$ として、式(2)により r_n を求める。

$$r_n(t, s) = MinRad + (MaxRad - MinRad) \times p_n(t, s) \quad (2)$$

図 3 にノード半径の変化を示す。半径の値に応じて学習者 n の半径が $MaxRad$ と $MinRad$ の間の値として決定される。このように、学習者の発言量、被注視量をノードの大きさとして反映することで、各学習者が協力的な態度で協調学習に取り組んでいるかどうかを表現する。

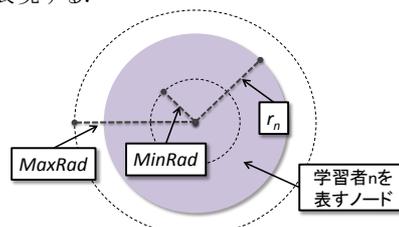


図 3: 学習者のノード半径の変化

² airpenPocket: <http://www.airpen.jp/>

(2) ノード間の間隔

ノードの半径で表現される各学習者の協調的な態度に加えて、学習者同士の関係の親密さを参加者間のインタラクションに基づき表現する。ここでは、ある区間における互いの関係の疎密を学習者の相互注視時間に比例する形でノード間の距離を小さくするような可視化を実現する。相対的な距離として学習者間の関係性を表現することで、他者と上手く協力していない学習者などを直感的に表現できる。

現時点 t から s 秒前までに学習者 n_1 が n_2 に視線を向けていた時間を $g(n_1, n_2)$ としたとき、互いを見ていた時間の合計 $G(n_1, n_2)$ は式 (3) のようになる。

$$G(n_1, n_2) = g(n_1, n_2) + g(n_2, n_1) \quad (3)$$

G の値が大きいほど n_1 と n_2 の関係が深いといえる。本研究では 3 名の学習者の学習状況を可視化することに焦点を当てているため、ここでは学習者間の距離を、学習者を表すノードの重心から見た相対的な角度によって表現する。すなわち、 G の値が大きい二者間ほどその角度を小さくするように可視化する。ここで、学習者 n_1, n_2, n_3 の 2 者間における角度の相対的な比率 f を G の値の逆比 ($f = 1/G$) として算出し、 n_1, n_2 間の角度 $\theta(n_1, n_2)$ を式 (4) のように計算する。

$$\theta(n_1, n_2) = 2\pi \times \frac{f(n_1, n_2)}{f(n_1, n_2) + f(n_2, n_3) + f(n_3, n_1)} \quad (4)$$

n_2, n_3 間, n_3, n_1 間の角度も同様に計算できる。

算出された学習者間の角度を二次元平面上に反映させるためには基準となる座標が必要となる。図 4 (左) にインタフェースに表示される学習者を表すノードの初期配置を示す。初期状態では原点からみて 120 度の間隔で各ノードが配置される。可視化を行う場合は、学習者 n_2 を基準として定め y 軸上に固定することで、 θ の値に基づき他の学習者 n_1, n_3 の相対的な座標を配置する。図 4 (右) に、ある時点における学習者のノード配置を示す。学習者 n_2 と n_3 が互いを観察しながら学習を進めている一方で、 n_1 は相対的に相互注視をしていないという学習状況を直感的に表現できる。

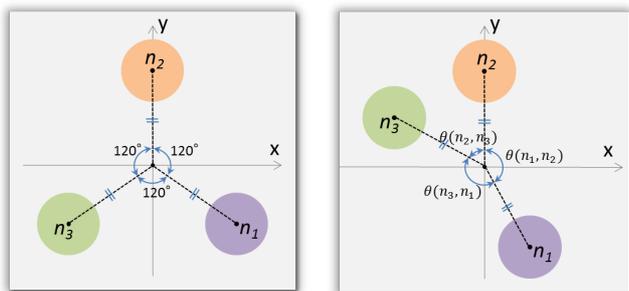


図 4: ノードの配置例

3.2 学習理解態度の可視化

(3) ノード色の濃さ

協調学習では、学習者自身がノートを取りながら課題を解き進めることに加えて、学習課題に関する新たな知識を他者の説明や議論を通して得ることができる。課題に対する学習者の理解態度がわかることで、発言がない場合でも問題を解き進めている状況や、手が止まり膠着してしまっている状況を把握できる。そこで本研究では学習理解を進めている情報として、学習者の

記述動作時間、発話者及び発話者のノートへの注視時間に比例するように各学習者を表すノード色を濃くする。

現時点 t から s 秒前までの間に学習者 n がノートを記述している時間を $W_n(t, s)$ 、発言している他者を見ている時間を $GtoU_n(t, s)$ 、発言している他者のノートを見ている時間を $GtoUN_n(t, s)$ としたとき、濃度の比率 $b_n(t, s)$ を式 (5) により算出する。

$$b_n(t, s) = \frac{W_n(t, s) + GtoU_n(t, s) + GtoUN_n(t, s)}{s} \quad (5)$$

$W_n(t, s) + GtoU_n(t, s) + GtoUN_n(t, s) \geq 1$ となる場合は、 $b_n = 1$ とする。 $b_n(t, s)$ を濃度の変動域を考慮して最終的な濃度の値を求める。ここでは見やすさのため、濃度の最小値を $MinDens (=0.2)$ 、最大値を $MaxDens (=1.0)$ として最終的な濃度 $d_n(t, s)$ を式 (6) より求める。

$$d_n(t, s) = MinDens + (MaxDens - MinDens) \times b_n(t, s) \quad (6)$$

図 5 に算出された濃度値に応じたノード色の変化を示す。表示されたノード色の濃さを見ることで、ある時点において誰が意欲的に学習に取り組んでいるかを表現する。

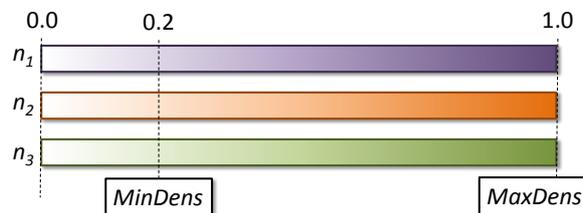


図 5: 学習者のノード色の濃さ

4. 学習状況可視化システム

可視化手法を反映した可視化システムを構築した。図 6 に本システムの実行画面を示す。可視化システムのインタフェースは大きく分けて 4 つのエリアで構成されている。

設定エリアでは、学習時の読込用動画ファイル (flv 形式) と非言語情報ファイル (xml 形式) を選択し、開始ボタンを押すことでシステムを開始できる。システムが開始するとビデオ操作エリアに動画が表示される。ビデオ操作エリアでは、動画の再生・停止という基本操作の他に、再生時間シーケンサーを操作することで、動画の再生位置を変更できる。現在の再生時間と総合時間がシーケンサーの横に表示され、音量調整ボタン、全画面表示ボタンがある。

可視化エリア (リアルタイム) では、ビデオ上に映し出される学習者を右から A, B, C とした配置に対応するように学習者を表すノードが表示される。学習者はそれぞれ異なる色で表現されており、再生時間に応じてリアルタイムに可視化される。本エリアには現在再生している時点から何秒前までのデータを考慮して可視化するかを指定するためのスライドバーが存在し、再生時に任意の値に調節することができる。また、各学習者について現在の再生時間で他者を見ていた場合、注視者から被注視者のノードに対して矢印が表示される。他者に発言をしている、ノートを記述している場合は、それぞれ「Utterance」、「Writing」という文字が行為者のノード上に表示される。

可視化エリア (トータル) では、協調学習の開始から現在再生している時点までの、各学習者の「被注視量」、「発言時間量」、及び「ノート記述時間量」が円グラフで表現される。グラフの色は学習者のノードの色と対応しており、各項目にマウスオーバーすることでその割合が表示される。

このように本システムでは、動画の再生時点における動作の可視化と、再生時間から指定時間前までの協調的態及び学習理解態度の可視化、及び学習開始時から再生時点までの総合的な可視化を実現している。

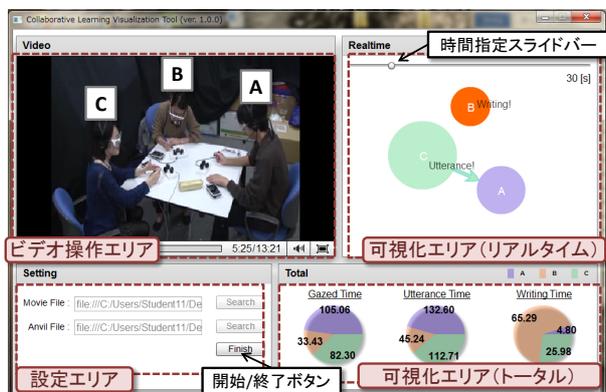


図 6: 可視化システムのインターフェース

5. 評価実験

5.1 実験内容

協調的態及び学習理解態度を可視化するために用いた非言語情報の妥当性を確認するために、評価実験を実施した。ここでは、実験動画の一部分を切り取った 8 本の動画(平均 42.3 秒)を 7 名の被験者に観察させた。実験では、可視化インターフェースの表示画面を直接見せるのではなく、学習全体の様子を撮影した動画(図 6 のビデオ操作エリア)のみを閲覧させ、可視化項目に対するアンケートを 1 本の動画を見終わる度に記入させた。ここでは、「(a) 協調的態で学習をしていたか」、「(b) 学習者 A と B, B と C, C と A の間で互いに関わりながら協調学習していたか」、「(c) 積極的に学習・知識理解を進めていたか」の 3 項目について、「1(全くしていない)~4(どちらともいえない)~7(よくしている)」の 7 段階尺度を選択させた。(a), (b), (c) の各項目は、可視化エリアにおけるノードの半径、ノード間の距離、ノード色の濃さにそれぞれ対応しており、被験者の印象とシステムが算出した値の相関を調査した。システムの値は、実験動画の総再生時間を可視化エリア(リアルタイム)のスライドバーで調整したときの動画終了時の値を用いている。なお、1 回動画を見ただけでは評価が難しかった場合は動画を再度見直すことを許可した。

5.2 実験結果

表 1 に可視化システムで算出した可視化項目の値と、評価結果の平均値とのピアソンの積相関係数を示す。本可視化手法ではノード間の角度が小さい値になるほど関係が親密であるとしているため、(b) では評点の逆値(被験者の評価結果の平均を 8 から引いたもの)を示している。課題の違いに関わらず、全ての項目で全ての可視化項目で強い相関($r > 0.7$)が見られ、可視化のパラメータとして用いた非言語情報は妥当であり、被験者の直感に合った可視化手法となっていることを確認した。

実験終了後、数名の被験者に実際の可視化インターフェースを観察してもらったところ、1 回観察しただけでは各アンケート項目に答えることが難しかったため何度も動画を見直したが、システムでは自身が判定した評価を直感的に表示しており大変わかり易いという意見が得られた。事実、実験時に多くの被験者は動画を何度も見なおしてから評価していた。このように、リアルタイムな学習の様子に加えて、協調的態の側面、学習理解態

度の側面を定量的に推定し直感的に表現する本可視化システムによって、学習状況を分析・評価することが容易になると考えられる。

表 1: 可視化項目と相関係数の結果

No.	可視化内容	課題 1	課題 2	全体
(a)	ノードの半径	0.906	0.868	0.822
(b)	ノード間の間隔	0.943	0.746	0.808
(c)	ノード色の濃さ	0.850	0.725	0.760

6. まとめ

本研究では、協調学習における非言語インタラクションを可視化することを目的とした。学習者の非言語情報として、注視発言区間、そしてノート記述動作が蓄積された協調学習コーパスに基づき、学習者の協調的態の側面及び学習理解態の側面を直感的に可視化するための手法を提案し、学習状況可視化システムを構築した。評価実験の結果、全ての可視化項目の値と被験者の付けた印象との間に強い相関が見られ、被験者の直感に合った可視化を実現できることを確認した。

今後の課題として、本可視化システムを用いて、上手く参加できていない学習者がいる場合や、協調学習全体が上手く進まずに膠着しているような状況で、どのようなインタラクションが生じているのか明らかにしていく予定である。

参考文献

- [Adelsberger 2002] Adelsberger, H.H., Collis, B., and Pawlowski, J.M.: "Handbook on Information Technologies for Education and Training," Springer-Verlag (2002).
- [Soller 2007] Soller, A. and Lesgold, A.: "Modeling the process of collaborative learning," U. Hoppe, H. Ogata, and A. Soller (Eds.) The Role of Technology in CSCL, Vol.9, Part I, Springer, pp.63-86 (2007).
- [稲葉 2003] 稲葉晶子, 大久保亮二, 池田満, 溝口理一郎: "協調学習におけるインタラクション分析支援システム", 情報処理学会論文誌, Vol.44, No.11, pp.2617-2627 (2003).
- [Kreijns 2003] Kreijns, K., Kirschner, P.A., and Jochems, W.: "Identifying the pitfalls for social interaction in computer-supported collaborative learning environments: a review of the research," Computers in Human Behavior, Vol.19, Issue 3, pp.335-353 (2003).
- [Hayashi 2013] Hayashi, Y., Ogawa, Y., and Nakano, Y.I.: "An Experimental Environment for Analyzing Collaborative Learning Interaction," Proc. of 15th International Conference on Human-Computer Interaction (2013, to appear).
- [Brennan 2008] Brennan, S.E., Chen, X., Dickinson, C.A., Neider, M.B., and Zelinsky, G.J.: "Coordinating cognition: the costs and benefits of shared gaze during collaborative search, Cognition," Vol.106, Issue 3, pp.1465-1477 (2008).
- [角 2008] 角康之, 西田豊明, 坊農真弓, 來嶋幸幸: "IMADE: 会話の構造理解とコンテンツ化のための実世界インタラクション研究基盤", 情報処理, Vol.49, No.8, pp.945-949 (2008).
- [河原 2005] 河原達也, 李晃伸: "連続音声認識ソフトウェア Julius", 人工知能学会誌, Vol.20, No.1, pp.41-49, (2005).
- [Kipp 2001] Kipp, M.: "Anvil - A Generic Annotation Tool for Multimodal Dialogue," Proc. of Eurospeech 2001, pp.1367-1370 (2001).